

CAN — УВЕРЕННОСТЬ В НАДЕЖНОСТИ

Сергей Шумилин, начальник отдела разработки цифровых ИС, ЗАО «ПКК Миландр»

В статье рассказывается об особенностях шины CAN, обеспечивающих ее надежность, о необходимости строгого соответствия всех узлов шины общим стандартам. Приводится обзор документов, регламентирующих саму шину и стандарт сертификации протокольной части различных узлов. Приведены примеры некоторых тестов. На примере новой разрабатываемой микросхемы показано, каким образом проводилась ее проверка на соответствие стандарту.

Шина CAN получила широкое распространение в автомобильной и авиационной технике, промышленной электронике, судостроении и железнодорожной технике. В успехе этого протокола заложено много факторов, начиная от первоначальной поддержки и продвижения его лидирующими фирмами и заканчивая дешевой реализацией конечных устройств. Но самое главное — это поразительная надежность шины CAN за счет аппаратной поддержки целостности передаваемых данных. Обнаружение и исправление возможных ошибок и изоляция «сбойных» узлов делают данный стандарт востребованным в задачах, где требуется высокоскоростная, простая и надежная шина.

В настоящее время отечественные микросхемы для реализации шины CAN на рынке не представлены, но разработки таких схем ведутся. Компания ЗАО «ПКК Миландр» проводит разработку микроконтроллера 1886BE5, являющегося продолжением собственной серии 8-битных микроконтроллеров 1886. Характеристики разрабатываемой схемы представлены в таблице 1.

Для построения сети на основе шины CAN кроме микросхемы, реализующей протокольную часть, необходим специализированный приемопередатчик для подключения к физической линии передачи информации. Традиционно приемопередатчик шины CAN выполняется в отдельной микросхеме, так как выводы, работающие на линию, должны выдерживать перепады напряжения до ± 40 В. Это требование невозможно обеспечить в стандартном КМОП-процессе, что и обуславливает изготовление нескольких микросхем по разным технологиям. Одновременно с разработкой микроконтроллера 1886BE5 в компании «Миландр» ведется разработка приемопередатчиков шины CAN и шины LIN. Их основные характеристики приведены в таблице 2.

ИСТОРИЯ И ОСНОВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ ПРОТОКОЛА CAN

Первоначально протокол CAN был разработан компанией Robert Bosch GmbH (Германия) в 1986 г., когда ей была заказана разработка коммуникационной системы между тремя электронными устройствами управления ECU (electronic control units) автомобиля «Мерседес». Интерфейс UART уже не подходил для решения данной задачи, так как в нем используется тип коммуникации «точка-точка». Возникла потребность в мультимастерной системе связи. Первый CAN-контроллер был изготовлен в 1987 г.

компанией Intel. В 1993 г. протокол CAN получил статус стандарта ISO 11898 «Road Vehicles — Interchange of Digital Information — Controller Area Network (CAN) for high-speed Communication» (Дорожные транспортные средства — Обмен цифровыми данными — Локальная сеть контроллеров (CAN) для высокоскоростной коммуникации). Стандарт постоянно пересматривался, первая поправка была издана в 1995 г., последние корректировки стандарта датируются 2007 г.

В настоящее время стандарт состоит из пяти частей:

ISO 11898-1:2003 Road vehicles — Controller area network (CAN)

Part 1: Data link layer and physical signaling

Данный раздел описывает протокольную часть шины CAN, механизм передачи, структуру пакетов, способы кодирования, подтверждения передачи и обнаружения ошибок. В 2006 г. опубликовано дополнение ISO 11898-

Таблица 1. Характеристики микроконтроллера 1886BE5

Процессорное ядро	8-битное RISC-ядро, совместимое с серией 1886
Средства разработки	ASM или компилятор с языка C
Производительность, MIPS	До 8 при частоте 32 МГц
Память программ, Кбит	4 × 16 EEPROM
ОЗУ, байт	902
Питание, В	3,0...5,5 (частота до 4 МГц), 4,5...5,5 (частота до 32 МГц)
CAN	До 1 Мбит/с, 6 универсальных буферов сообщений, 2 набора фильтрующих масок
USART	Есть, с поддержкой шины LIN
EEPROM данных, байт	256
АЦП	10-разрядный, 8 каналов
ШИМ, разрядов	2 × 10
Таймеры	3
Схема захвата	2
Входы-выводы	36 пользовательских линий
Температурный диапазон, °С	-60...125
Корпус	H14.42-1B
Выход первых образцов	Весна 2008 г.

Таблица 2. Характеристики приемопередатчиков

	Приемопередатчик CAN	Приемопередатчик LIN
Напряжение питания, В	4,5...5,5	5...27 (рассчитан на питание от бортовой сети)
Скорость передачи, Кбит/с	До 1000	До 20
Температурный диапазон, °С		-60...125
Корпус		H02.8-1B
Выход первых образцов		Весна 2008 г.

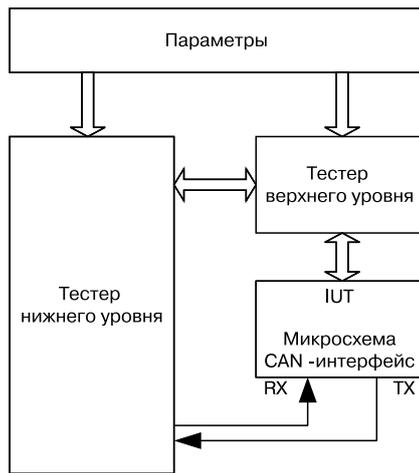


Рис. 1. Схема включения при тестировании микросхемы с CAN-интерфейсом

1:2003/Cor 1:2006, исправляющее ошибки в основном документе.

Part 2: High-speed medium access unit

Требования к приемопередатчикам и физической среде передачи шины CAN, работающей на больших скоростях, до 1 Мбит/с.

Part 3: Low-speed, fault-tolerant, medium-dependent interface

Требования к приемопередатчикам и физической среде передачи шины CAN, работающей на малых скоростях, до 125 Кбит/с. В 2006 г. опубликовано дополнение ISO 11898-3:2006/Cor 1:2006.

Part 4: Time-triggered communication

Требования к обмену по шине CAN с разделением по времени, когда под передачи различных узлов выделяются отдельные периоды времени. Подобные требования зачастую возникают в системах реального времени. Часть требований данного раздела стандарта иногда поддерживается аппаратно микроконтроллерами, но в большей части реализуется программно.

Part 5: High-speed medium access unit with low-power mode

Фактически это дополнение ко второй части стандарта, описывающее новые функциональные возможности в приложениях с пониженным энергопотреблением.

Кроме самого стандарта CAN опубликован стандарт ISO 16845:2004 *Road vehicles — Controller area network (CAN) — Conformance Test Plan*, который описывает принципы и набор тестов, обеспечивающие проверку на соответствие основному стан-

дарту ISO 11898-1. К сожалению, в данном документе достаточно много ошибок, и в ближайшее время этот стандарт будет либо обновлен, либо будет выпущено соответствующее дополнение. Проведение проверки на соответствие стандарту в первую очередь необходимо фирмам, занимающимся разработкой соответствующей электронной элементной базы, включая микроконтроллеры, датчики, интерфейсные схемы, которые уже затем применяются для разработки сложных устройств на базе шины CAN. Конечным разработчикам систем в принципе необходимо только убедиться, что тот или иной выбранный чип прошел соответствующую сертификацию и может гарантировать, что схема без ошибок реализует протокол CAN.

Чем обусловлено появление отдельного стандарта для проверки устройств на соответствие протоколу CAN? Во-первых, это традиционная практика работы Международной организации по стандартизации ISO, обеспечивающей разработку и поддержку как самих стандартов, так и отдельной методологической базы для разработчиков. Во-вторых, и наверное самое главное, необходимость данного стандарта тестирования определена самим протоколом CAN.

В сложных сетях с большим числом CAN-узлов используются микросхемы разных производителей, при этом они должны «уживаться» и совместно работать без сбоев. Иначе говоря, все узлы должны работать по единым правилам и поддерживать протокол в полном объеме, как в части обмена данными, так и в части обработки всех сбойных и ошибочных ситуаций, которые могут возникнуть. Основной принцип надежности шины CAN заложен в идее обеспечения целостности передаваемых данных. Поскольку протокол не реализует возможность получения подтверждения приема данных от каждого узла в отдельности, различить ситуацию, что часть узлов успешно приняла пакет, а часть нет, невозможно. Для того чтобы такая сбойная ситуация не возникала, используется принцип «ни себе — никому». Узел обнаруживший сбойную ситуацию специально усугубляет ее, для того чтобы и другие узлы обнаружили сбой на шине. Пакет, показавшийся одному из узлов ошибочным, будет им испорчен так, что и другие узлы его не воспримут. Кроме того, этот сбой обнаружит передатчик пакета и при первой возможности повторит передачу. Чтобы какой-либо узел, вышедший из строя, не блокировал работу всей сети, в нем реализован

механизм самоизоляции: как только число обнаруженных им ошибок превысит определенный рубеж, узел перейдет в пассивный режим и больше не сможет нарушать работу сети. Если и после этого работа узла не стабилизируется, он будет отключен. Таким образом, наличие ошибок в сети — это не исключительные ситуации, а вполне допустимые режимы работы, и стандарт описывает необходимые действия при их возникновении. Если же хотя бы один из узлов не будет соответствовать стандарту, то он может значительно затруднить работу всей сети или даже заблокировать ее. Либо он ошибочно примет сбойные пакеты, что также может привести к непредсказуемым последствиям. Если все устройства в сети работают правильно и пакет принят правильно, это означает, что его успешно принял не только один данный приемник, но и все другие узлы сети, что фактически реализует мажоритарный контроль при передаче.

Для того чтобы разработчики аппаратуры были максимально уверены в надежности своей техники, необходимо применять только проверенные и прошедшие соответствующую сертификацию электронные компоненты.

СЕРТИФИКАЦИЯ КОНТРОЛЛЕРОВ ШИНЫ CAN

Стандарт ISO 16845 описывает набор тестов, успешное проведение которых гарантирует, что тестируемая реализация протокольного уровня шины CAN работает в соответствии со стандартом ISO 11898-1. Схема включения тестируемой микросхемы приведена на рисунке 1.

Тестируемая микросхема (устройство) с CAN-интерфейсом работает под управлением специального тестового оборудования.

Тестер верхнего уровня — это приложение, реализующее специальную программу обмена по шине CAN в соответствии с требованиями плана на соответствие стандарту и обеспечивающее отправку или прием пакетов через тестируемую микросхему. При тестировании микроконтроллеров это приложение реализуется в самой микросхеме. Обычно это программа на языке C, которая компилируется под данный тип микроконтроллера.

Тестер нижнего уровня — это устройство задания уровней на линии RX и анализа состояния на линии TX. Тестер нижнего уровня задает некоторую ситуацию на шине CAN и анализирует правильность поведения тестируемой микросхемы.

Параметры тестирования определяют скоростные характеристики сети CAN — размеры полей в битовом интервале, общую скорость передачи и прочее. В конечном итоге все тесты должны быть выполнены во всех режимах работы. Каждый тест, описанный в стандарте, представляет собой следующую последовательность: «первоначальное состояние» (Set-up), «воздействие» (Test) и «результат» (Verification). Приведем в качестве примера следующий тест.

7.1.2. Identification and number of data in extended format (Идентификатор и число данных в расширенном формате)

7.1.2.1. Назначение и ограничение этого теста

Этот тест применяется к устройствам, реализующим протокол CAN версии В.

Тест проводится для проверки поведения устройства при приеме корректного пакета данных с различными идентификаторами и различным числом байт данных в расширенном формате.

Тестируются идентификаторы = [0x00000000, 0x1FFFFFFF].

Тестируются числа байт данных = [0, 8].

7.1.2.2. Организация теста

Первоначальное состояние:

— нет никаких действий, устройство в первоначальном состоянии после сброса.

Воздействие:

— один тест для каждого значения возможных данных.

Результат

— устройство не должно генерировать флагов ошибки на протяжении всего теста;

— устройство должно подтвердить прием всех пакетов;

— принятые устройством данные должны совпадать с отправленными в ходе теста.

Фактически данный тест требует, что бы тестируемая микросхема приняла без ошибок и подтвердила прием всех пакетов, с различными идентификаторами и различным числом байт данных, и чтобы вся принятая информация совпала с отправленной. В этом случае тест считается пройденным.

Всего в стандарте ISO 16845 описано 146 различных тестовых условий. С учетом того, что каждый тест выполняется с различными значениями в полях пакетов и на разных скоростях, для полноценного тестирования микросхемы требуется более

3000 тестов. Приведенный выше пример теста является наиболее простым. Некоторые тесты представляют собой длительные воздействия с предельно выверенными результатами, так что эти тесты могут быть выполнены, только если тестируемая микросхема соответствует всем требованиям стандарта (см. пример ниже).

8.5.10. Bus-off State (Состояние отключения шины)

8.5.10.1. Назначение и ограничение этого теста

Этот тест применяется к устройствам, реализующим протокол CAN версии А, В, ВР.

Тест предназначен для проверки того, что устройство переключается в состояние «Отключение шины» и более не посылает доминантных бит.

Для проведения теста требуется одно испытание.

8.5.10.2. Организация теста

Первоначальное состояние:

— нет никаких действий, устройство в первоначальном состоянии после сброса.

Воздействие:

— тестер верхнего уровня программирует устройство на отправку двух пакетов, после чего тестер нижнего уровня заставляет устройство сгенерировать пакет ошибки. Во время отправки устройством флага ошибки тестер нижнего уровня задает на линии RX 16 рецессивных бит, а затем 112 доминантных бит. После этого устройство должно отправить первый пакет. Тестер нижнего уровня подтверждает прием этого пакета и сразу же заставляет устройство сгенерировать пакет переполнения. Тестер нижнего уровня выставляет на RX рецессивное состояние в первом бите флага переполнения, генерируя ошибку бита. Через 13 битовых интервалов тестер нижнего уровня выставляет на RX доминантный бит, что приводит к тому, что устройство снова отправляет пакет переполнения. Тестер нижнего уровня выставляет на RX рецессивное состояние в первом бите флага переполнения, что должно привести к увеличению счетчика ошибок передачи до значения уровня отключения шины. Через 25 битовых интервалов тестер нижнего уровня отправляет пакет.

Результат:

— только один пакет должен быть отправлен устройством, также устройство не должно подтвердить прием пакета, отосланного тестером нижнего уровня.

КТО И КАК ПРОВОДИТ СЕРТИФИКАЦИЮ

Новую микросхему с CAN-интерфейсом можно протестировать самостоятельно, но, чтобы это устроило будущих потребителей, ваша фирма должна называться как минимум NXP. Можно воспользоваться зарекомендовавшими себя верификационными пакетами, например VHDL Reference CAN от фирмы Bosch (www.semiconductors.bosch.de/en/20/can/products/vhdl.asp). Аналогичный пакет предлагают и другие компании (www.yogitech.com/evc_CAN2.0B.htm). Эти пакеты позволяют проверить поведение разрабатываемого блока путем моделирования работы на уровне RTL-описания. Использование этих пакетов значительно упрощает процесс разработки, но не является гарантией полного соответствия стандарту. Основной процесс сертификации для конечных устройств проводится в сертификационных центрах, например, C&S Group (Германия) (www.cs-group.de). В такой центр передается законченная микросхема либо ее прототип на базе ПЛИС, который проходит всестороннее тестирование на предмет соответствия стандарту. В случае выявления ошибок, специалисты центра могут проконсультировать, как именно должна работать шина в данной ситуации. Кроме тестов, описанных в стандарте ISO 16845, C&S Group проводит ряд дополнительных тестов собственной разработки. Кроме тестирования протокольной части шины CAN в лаборатории может проводиться проверка других протоколов, таких, как LIN и FlexRay. Также возможно тестирование приемопередатчиков данных стандартов. Клиентами C&S Group являются такие фирмы, как Freescale, Infineon, NEC, Atmel и многие другие.

В октябре 2007 г. компания «Миландр» успешно завершила процесс сертификации прототипа микроконтроллера 1886BE5 на базе ПЛИС и получила заключение от C&S Group о его полном соответствии стандарту CAN. Выход экспериментальных образцов микроконтроллеров намечен на весну 2008 г.. Разработанное IP-ядро контроллера интерфейса CAN будет применяться и в других разработках. В 2008 г. фирма начнет разработку новой линейки 32-разрядных микроконтроллеров на базе ARM-ядра, среди которых будут представлены микроконтроллеры с CAN-интерфейсом для автомобильной техники.